

Treball de Fi de Grau

Grau en enginyeria en tecnologies industrials

Aplicació de la tecnologia vestible a la dansa

MEMÒRIA

Autor: Olga Giménez Gabarró
Director: Oriol Boix Aragonès
Convocatòria: Juliol 2017



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resum

En aquest Treball de Fi de Grau (TFG) s'ha fusionat, mitjançant tècniques de pensament lateral, la tecnologia i la dansa, dos mons aparentment inconnexos.

En concret s'ha volgut donar un gir a la idea de ballet clàssic tal i com s'entén actualment i s'ha volgut modernitzar incorporant efectes de llum en el vestuari.

Primer es farà una introducció explicant la motivació per realitzar aquest projecte, quins objectius s'han fixat i l'abast d'aquest.

Seguidament s'introdueix al lector al món de la tecnologia vestible, els primers projectes duts a terme i a la gran varietat de projectes que aquest sector pot arribar a abastar.

A continuació s'explicarà el disseny del projecte, els components que el formen, el circuit elèctric necessari i el posterior muntatge del projecte. També es comentaran les funcions que s'han utilitzat per tal de programar el microcontrolador.

Es presentarà el pressupost del projecte, tant del cost de les hores invertides com el dels components i eines utilitzats per la creació del prototipus, amb el qual es pot arribar a definir la viabilitat de posar a la venda aquesta indumentària per a futurs espectacles de ballet.

Per últim es farà un estudi de l'impacte mediambiental i es finalitzarà amb les conclusions i agraïments.

Sumari

RESUM	2
SUMARI	3
1. INTRODUCCIÓ	5
1.1. Objectius del projecte.....	5
1.2. Motivació	5
1.3. Abast del projecte i requeriments previs.....	5
2. INTRODUCCIÓ A LA TECNOLOGIA VESTIBLE	7
2.1. Desenvolupament al llarg de la història	7
2.2. Diferents projectes	12
3. EXPLICACIÓ DEL PROJECTE	16
3.1. Disseny.....	16
3.2. Descripció dels diferents components	16
3.3. Circuit	22
3.4. Muntatge	24
3.5. Programació	25
4. PRESSUPOST	30
5. IMPACTE MEDIAMBIENTAL	32
CONCLUSIONS	33
AGRAÏMENTS	34
BIBLIOGRAFIA	35
Referències bibliogràfiques	35

1. Introducció

1.1. Objectius del projecte

Actualment estem en l'era tecnològica i és que vivim rodejats de tecnologia i electrònica. Cada dia aquesta és integrada en més sectors fins al punt que els que no l'introdueixen a la seva rutina es queden enrere en el mercat sense descartar la possibilitat de quedar totalment obsolets. Ja que perden avantatges respecte els seus competidors.

Amb aquest projecte es busca aplicar els coneixements obtinguts i assimilats durant el grau de tecnologies industrials, especialment aquells relacionats amb la programació i l'electrònica, i adquirir-ne de nous, com aprendre a programar un microcontrolador amb el llenguatge de programació C++.

Quan es parla d'integrar la tecnologia a tots els sectors no es parla només dels sectors com la salut o l'esport sinó que no es deixen de banda els més artístics o creatius com és el món de la dansa.

És a dir, integrar elements electrònics al món de la dansa per tal de poder crear així espectacles molt més vistosos, dinàmics i originals.

La idea està en sorprendre al espectador amb un vestuari de ballet poc típic, disposant sobre el tutú tires LED que canvien de seqüència i color depenent dels moviments de la ballarina.

1.2. Motivació

Poder complementar un món tècnic com és la enginyeria i la programació amb un món més creatiu com és el de la moda i la dansa és un gran repte que motiva a l'autora d'aquest TFG.

1.3. Abast del projecte i requeriments previs

L'abast del projecte va des del disseny del tutú i la selecció dels elements que incorpora fins al muntatge d'aquests elements i la programació del microcontrolador.

Per fer-ho cal saber programar amb el llenguatge C++ i, com funcionen els components electrònics necessaris, en aquest cas un microcontrolador compatible amb Arduino, un sensor d'acceleració, giroscopi i magnetòmetre i unes tires de LED.

També cal saber com soldar tots els components i adherir-los al tutú.

El tutú que es presenta, és plenament funcional però és un prototipus. En una versió comercial caldria millorar-ne alguns detalls.

2. Introducció a la tecnologia vestible

Avui en dia s'entén per tecnologia vestible (traducció de l'anglès *wearable technology*) aquells dispositius tecnològics que es poden portar posats, ja sigui com a roba o com a complement. Alguns exemples (Figura 1) en són els rellotges intel·ligents, les ulleres intel·ligents o la roba intel·ligent.



Figura 1. Rellotge¹, ulleres² i roba³ intel·ligent

Segons el seu ús es poden classificar en cinc grans grups: salut, esport i benestar, entreteniment, industrial i militar.

Aquest projecte quedaria classificat dins del grup d'entreteniment o fins i tot d'esport, si es parla de ballet professional.

2.1. Desenvolupament al llarg de la història

El primer dispositiu vestible, restringint-nos a aquells dispositius que poden estar programats per l'usuari, va ser inventat per Steve Mann a finals dels anys 70. Es tracta del *Wearable Computing*, unes ulleres que permetien a l'usuari fotografiar el que veia.

¹ Font: <http://www.amazon.in/D3-ANDROID-CONNECTIVITY-SUPPORT-BLUEETOOTH/dp/B01J3W2JLS>

² Font: <https://www.deingenieur.nl/artikel/beeldscherm-in-bril>

³ Font: <http://www.ideaseinventos.es/2017/03/14/la-chaqueta-inteligente-de-google-2/>



Figura 2. Primer dispositiu vestible, Wearable Computing⁴

El 1998 la marca Seiko va treure, al mercat el que es coneix com el primer rellotge intel·ligent (SmartWatch), el Ruputer. A finals del segle vint aquest rellotge era considerat com a tecnologia puntera. Tenia una pantalla rectangular, que mesurava unes dues polzades (5 cm) de diàmetre i permetia als usuaris jugar a jocs, mirar la informació de contacte i, per descomptat, saber l'hora. El Ruputer, podia ser operat per diversos botons que envoltaven la pantalla, juntament amb un botó groc de comandament.



Figura 3. Ruputer⁵

Al 2005, encara que hi havia altres tipus de rellotges capaços d'emmagatzemar tot tipus de dades, la majoria les introduïen a través de botons o d'un petit teclat, el que provocava que

⁴ Font: <https://wearablecomputers.tumblr.com/>

⁵ Font: <http://lowdown.carphonewarehouse.com/news/the-worlds-first-smartwatch/30575/>

fos costos, poc pràctic i que l'aigua pogués acabar entrant al dispositiu. El rellotge Timex Datalink descarregava la informació de manera inalàmbrica mitjançant la il·luminació d'una pantalla d'ordinador que era rebuda pel sensor del rellotge. Quan la bateria s'acabava, la informació es podia tornar a descarregar després de canviar la bateria, per tant no hi havia perill de perdre la informació. El fet de no estar implementat amb botons feia que fos més resistent a l'aigua.



Figura 4. Timex Datalink⁶

El 2013 el MIT va desenvolupar un producte vestible, capaç de mesurar la temperatura corporal. Wristify [1] és una polsera termoelèctrica que mesura la temperatura de l'aire i la de la pell de la persona que porta el dispositiu i respon amb polsos d'ones fredes o calentes cap al canell per tal que la sensació tèrmica de l'usuari sigui la idònia.

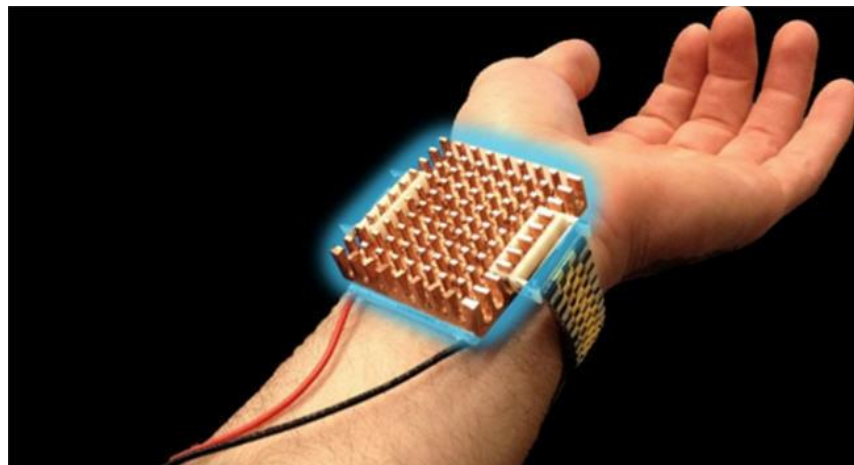


Figura 5. Wristify

Per últim, després de que diverses empreses intentessin, sense èxit, aportar al mercat productes semblants als rellotges intel·ligents esmentats anteriorment, el 2015 la marca Apple treu al mercat un nou producte, l'Apple Watch. A partir d'aquí és quan la tecnologia vestible (sobretot com a complement) es comença a fer més popular entre els usuaris i altres empreses com Samsung li segueixen el ritme llançant al mercat productes semblants.



Figura 6. Apple Watch⁷



Figura 7. Smartwatch Samsung (Gear 2 Neo)⁸

⁶ Font: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/c/c7/Timex_Datalink_150_steel_comm_ready.png

⁷ Font: <https://9to5mac.files.wordpress.com/2016/05/best-buy-apple-watch-sale.jpg>

En un article al diari La Vanguardia del 13 de març de 2017 [2] podem llegir:

Un estudi de la consultora IDC⁹ revela que el 2016 es van vendre al voltant de 102 milions d'unitats (amb tecnologia vestible) en tot el món, un 25 % més que l'any anterior. Al voltant d'1 milió d'aquests aparells es van comercialitzar a Espanya, encara que el creixement de les vendes en aquest cas només va ser del 0,6 % respecte al 2015."

Laura Castillo, analista a IDC, explica que els resultats no sorprenen ja que "en els dos anys anteriors, el sector va registrar creixements superiors al 300 % anual, per la qual cosa les xifres del 2016 mostren l'estabilització del sector". [...]

Aquest fet confirma el que s'ha comentat en apartats anteriors i és que aquest nou sector està entrant a la nostra societat amb molta força i sense que Espanya es quedi enrere, ja que és el novè mercat mundial que produeix aquest tipus de productes.

L'article segueix comentant:

La marca líder és la dels braçalets esportius Fitbit amb una quota del 22 % del mercat mundial i del 28 % a Espanya, on el van seguir Garmin, Apple, Samsung i Suunto.[...]

Segons IDC, en els pròxims anys "els fabricants hauran de solucionar el principal repte que encara afronta el sector, la seva dependència del telèfon intel·ligent, i centrar-se en l'exitós àmbit de la salut i l'esport, en què les companyies ja estan creant un ecosistema de diversos dispositius per a un mateix usuari." Tot i això, els analistes consideren que el creixement del sector vindrà impulsat per novetats que presentin els fabricants i no per necessitats reals dels consumidors.

⁸ Font: <http://images.mobilefun.co.uk/graphics/productgalleries/44242/samsung-gear-2-neo-smartwatch-black-p44242-c.jpg>

⁹ International Data Corporation, una empresa dedicada a l'estudi i publicació de dades del sector tecnològic.



Figura 8. Braçalet Fitbit¹⁰

Amb aquesta última afirmació podem enllaçar l'article amb el treball que s'està duent a terme i és que, tot i que no sigui ara mateix una necessitat de primer ni segon ordre, s'està creant als consumidors usuals de productes de dansa una necessitat.

2.2. Diferents projectes

Alguns dels components que s'han estat comentant fins ara, com per exemple els rellotges intel·ligents no estan a l'abans de tothom, econòmicament parlant. De mica en mica la tecnologia vestible s'ha anat introduint al mercat també en el format DIY (*Do It Yourself*), "fes-ho tu mateix/a".

Una empresa altament coneguda dins d'aquest sector és Adafruit Industries [3]. Aquesta, té una plataforma a través de la qual ven qualsevol component electrònic, entre ells els necessaris per crear un projecte DIY de tecnologia vestible. També ofereix una plataforma interactiva on els usuaris poden penjar els seus projectes explicant com s'han creat pas per pas i quin n'és el programa que hi ha darrera. També gaudeixen d'un apartat on hi ha penjats tutorials útils per tal d'aprendre a programar en C++ i exemples d'utilització dels components. A continuació destaquem alguns dels projectes que han fet públics.

¹⁰ Font: http://imagenes.pccomponentes.com/fitbit_flex_pulsera_de_actividad_color_negro_4.jpg

Florabrella

Es tracta d'un paraigües, el qual porta incorporats tires LED, que gracies a un sensor de color canvien de color segons els objectes que tenen a prop (efecte camaleó).



Figura 9. Florabrella¹¹

Circuit Playground Bike Glove

La finalitat d'aquest projecte és la de que els ciclistes puguin informar de les següents accions que executaran sense perill de ser mal entesos pel altres conductors. S'aconsegueix posant un microcontrolador amb diversos LED integrats sobre el guant esquerra i que aquests s'encenguin formant la forma d'una fletxa que indiqui la direcció en la que aniran. El sensor utilitzat en aquest projecte és un acceleròmetre.

¹¹ Font: <https://learn.adafruit.com/florabrella/insert-circuit-into-umbrella?view=all>



Figura 10. Microcontrolador amb diversos LED¹²

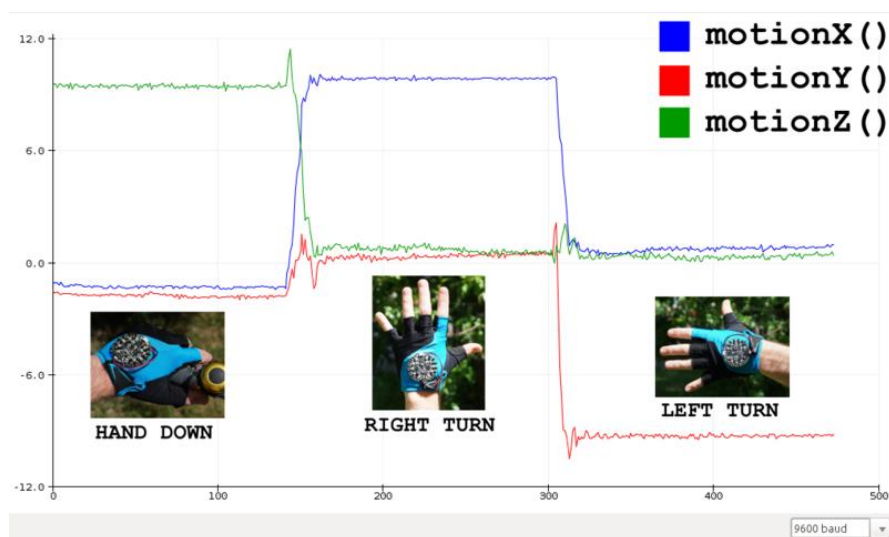


Figura 11. Gràfica de les acceleracions¹³

Per últim un altre projecte que està relacionat amb aquest TFG és el que té per nom Sparkle Skirt.

¹² Font: <https://learn.adafruit.com/circuit-playground-bike-glove/turn-signal-animations?view=all>

¹³ Font: <https://learn.adafruit.com/circuit-playground-bike-glove/hand-position-detection>

Sparkle Skirt

En aquest projecte s'encenen els LED d'una faldilla quan es detecta un moviment de la persona. En aquest cas, no segueixen cap seqüència determinada, sinó que s'encenen i apaguen aleatòriament i només pel fet que el sensor situat a la faldilla detecti un moviment. S'hi han cosit dotze LED per separat i es fa servir un sensor d'acceleració i camp magnètic (brúixola).



Figura 12. Sparkle Skirt¹⁴

¹⁴ Font: <https://learn.adafruit.com/sparkle-skirt/tools-and-supplies?view=all>

3. Explicació del projecte

Com s'ha comentat en l'apartat anterior, cada cop és més comú dissenyar, crear i programar dispositius electrònics des de casa, sense la necessitat de que l'usuari hagi estudiat enginyeria o informàtica. Això és gràcies a les moltes ajudes que es poden trobar als fòrums i internet i al relativament baix preu al que es poden aconseguir tots els elements necessaris.

En concret, per la realització d'aquest projecte s'han disposat tires de LED al voltant d'un tutú de ballet, les quals canvien la seva seqüència depenent dels moviments de la ballarina. El sistema es basa en un sensor d'acceleració, camp magnètic i giroscopi que permet saber si la ballarina salta, gira o pel contrari es manté en la mateixa posició. Per tal de llegir el sensor i controlar els LED s'ha emprat un microcontrolador compatible amb Arduino programat en llenguatge C++.

3.1. Disseny

S'han unit, amb brides, dotze tires LED en sentit vertical al voltant del tutú (de la cintura cap avall), d'una mesura de 60 cm cada una. Cada tira consta de 18 LED que s'encenen o apaguen segons els moviments de la ballarina.

El microcontrolador i el sensor estan cosits a la tela que queda situada a la cintura. D'aquesta manera el moviment del sensor respecte al cos és el mínim i, per tant, les lectures del sensor són més precises. El sistema està alimentat amb una bateria de 3,7 V i 2500 mAh, la qual està col·locada dins d'una bosseta de tela negra per tal que quedi dissimulada i molesti el menys possible a la ballarina.

3.2. Descripció dels diferents components

Microcontrolador Flora

Es tracta d'una plataforma electrònica totalment portàtil. És una placa de microcontrolador rodona, compatible amb Arduino, dissenyada per potenciar projectes vestibles. Incorpora connexió USB per tal de poder programar-lo amb facilitat, un botó per reiniciar el sistema i un connector de bateria JST polaritzat. Per últim, porta incorporat un regulador de 3,3 V i

250 mA (amb un díode de protecció i un fusible per l'USB) per tal que el voltatge del microcontrolador sigui constant.

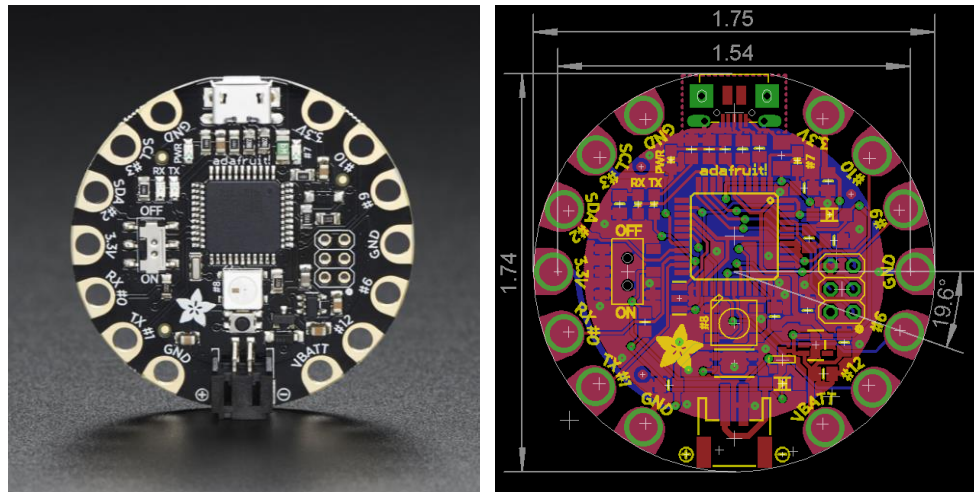


Figura 13. Microcontrolador i les seves mides

Sensor

Aquest sensor de moviment permet que l'usuari sàpiga quina és la seva orientació amb una alta precisió. Aquest permet fer tres lectures:

- Acceleròmetre: pot indicar quina és la direcció en la que actua la gravetat (direcció vertical) o com de ràpid s'està movent la placa en l'espai 3D.
- Magnetòmetre: pot detectar d'on ve la força magnètica més forta, generalment utilitzat per detectar el nord.
- Giroscopi: pot mesurar el gir de la placa respecte qualsevol de les tres direccions de l'espai.

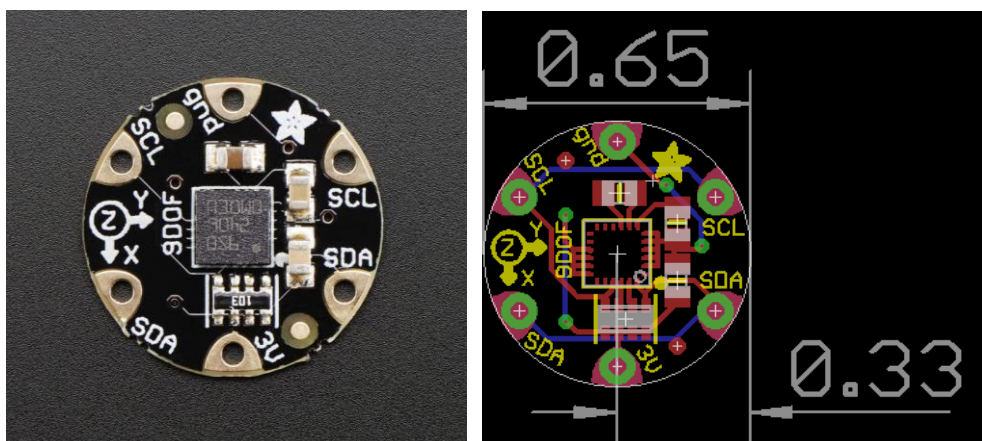


Figura 14. Sensor i les seves mides

LED

Un LED és, tal com indiquen les seves sigles en anglès (Light-Emitting Diode), un díode emissor de llum. El LED consta d'un semiconductor dintre una resina epoxi que quan és travessat per un corrent elèctric en el sentit adequat emet llum. Aquests components tenen una gran vida útil i consumeixen molt poc, fet que els fa idonis per a aquest projecte.



Figura 15. Un LED

S'han utilitzat dotze tires de divuit llums LED RGB, per realitzar les diferents seqüències, prèviament programades.



Figura 16. Tira de LED RGB

Bateria

La bateria que s'ha decidit utilitzar per aquest projecte és una bateria recarregable de 3,7 V amb una capacitat de 2500 mAh. Aquest tipus de bateria varia la tensió aportada segons l'estat de carrega, quan està carregada completament pot arribar a aportar 4,2 V, mentre que es pot descarregar fins a menys de 3,7 V. La placa que caldrà alimentar treballa bé amb una alimentació superior a 3,3 V, per tant, la bateria aporta la tensió necessària a menys que la bateria estigui pràcticament descarregada, punt en el que només caldrà connectar-la al seu carregador.



Figura 17. Bateria recarregable

Fil elèctric aïllat

S'han utilitzat cables flexibles de 50 mm² de secció. Es necessiten cables prims per tal que siguin lleugers i reduir el pes total del tutú. Però per altra banda, es vol que les caigudes de tensió siguin les mínimes.

La seva funció ha estat la de unir les tires de LED entre elles i les tires amb el microcontrolador. S'han necessitat tres cables per cada unió.

Per altra banda s'han utilitzat fils rígids prims per tal de fer les connexions del sensor al microcontrolador, en aquest cas han estat quatre.

Tutú

Es va parlar amb Intermezzo, una empresa especialitzada en roba de dansa que va acceptar cedir un tutú, per un preu simbòlic, per veure si el seu producte seria compatible amb aquest tipus de projectes.

Amb l'ajuda dels professionals, és va arribar a la conclusió que el millor tutú per aquest TFG és el d'estil romàntic, ja que, en ser més llarg i tenir més caiguda, el pes dels LED no afectaran a la forma del tutú. Per altra banda, es va decidir que el color fos el negre per tal de dissimular més les tires i que, per contra, la llum dels LED ressaltés més sobre el fons fosc.



Figura 18. Tutú

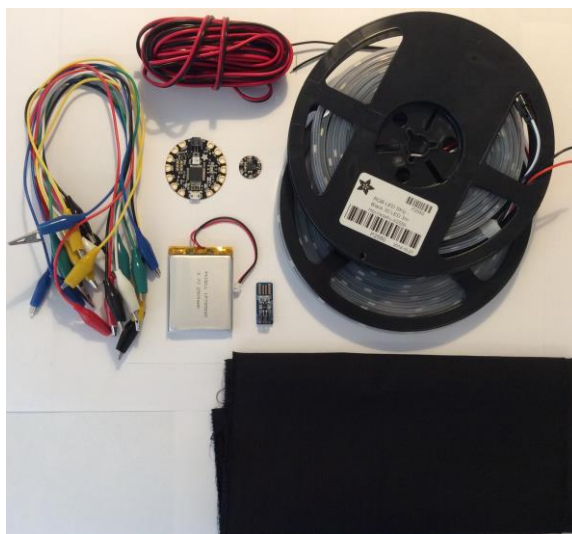


Figura 19. Components del sistema

3.3. Circuit

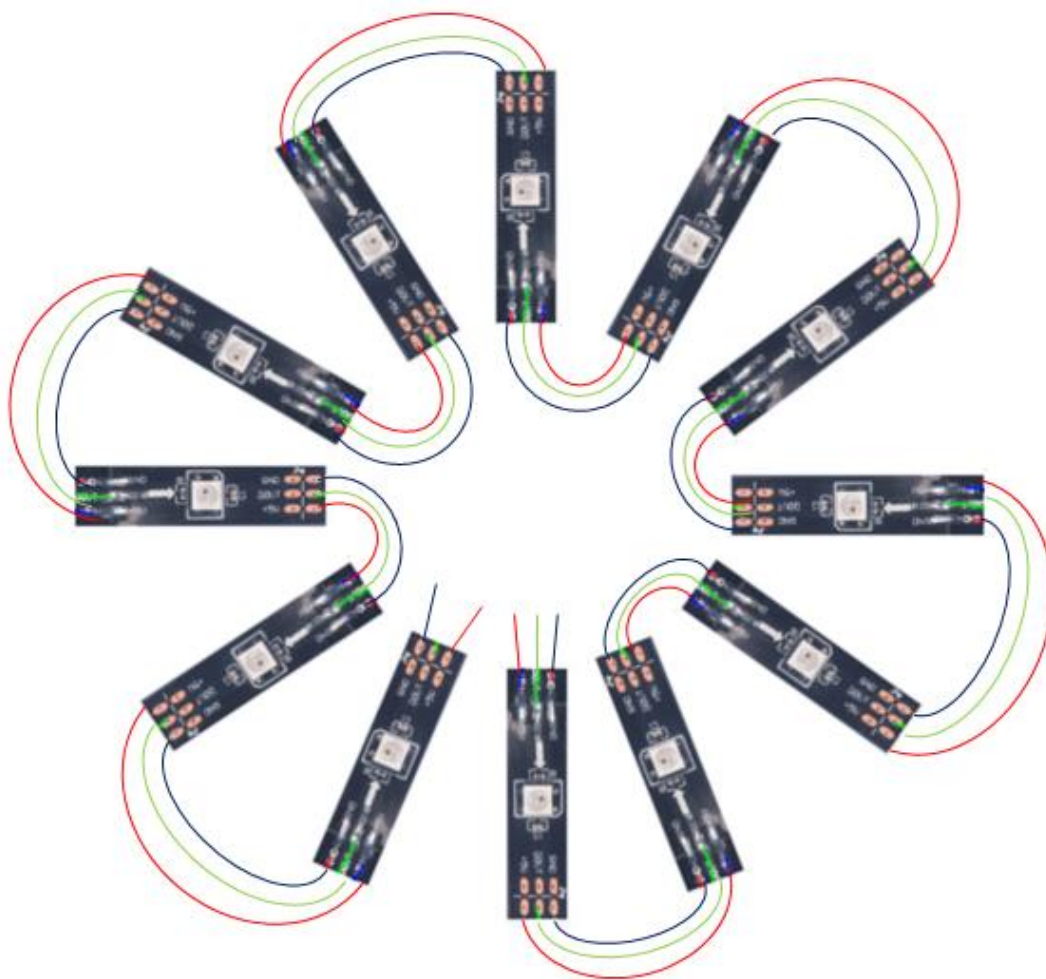


Figura 20. Connexió de les tires de LED

El circuit per unir les tires LED és el mostrat a la figura 20. En la figura s'ha representat només un LED per tira però, de fet, cada tira en té divuit. El codi de colors és el següent: el cable blau uneix els terres (GND), el verd l'entrada i sortida de dades (Din - Dout) i el vermell l'alimentació (5 V - VBAT).

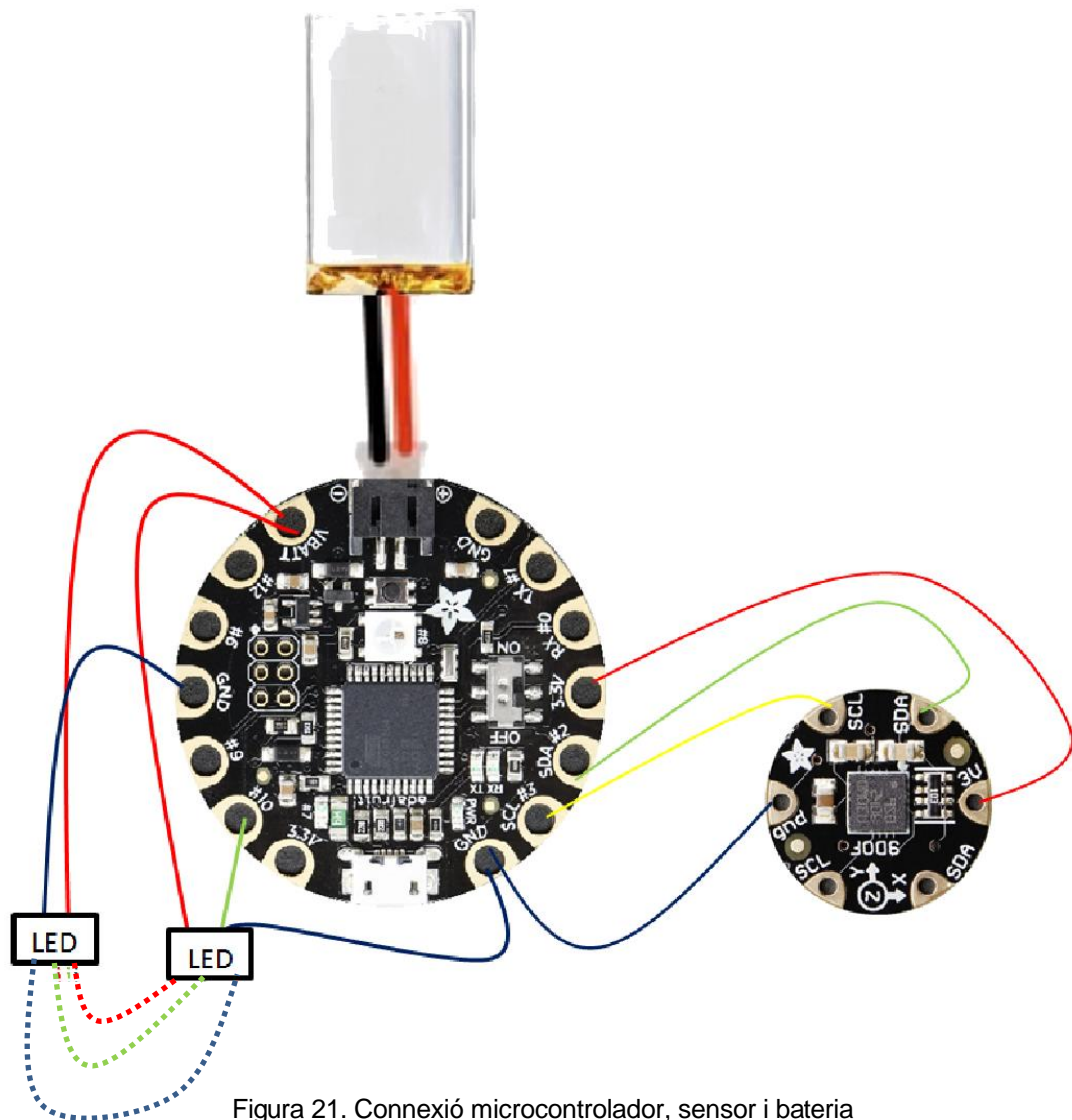


Figura 21. Connexió microcontrolador, sensor i bateria

Seguint el mateix criteri que abans, el codi de colors per les connexions entre el microcontrolador i el sensor és: el cable blau les connexions a terra (GND), el vermell la connexió a la font d'alimentació (3,3 V), el verd la connexió SDA i el groc l'SCL.

El pin SCL és un pols (*clock*) i el SDA és el encarregat d'enviar dades cada cop que l'SCL li envia un pols.

Pel que fa a les connexions entre el microcontrolador i les tires LED, es pot observar que la primera tira (LED de més a la dreta) presenta tres connexions (terra, bateria i entrada de dades) i la tira número dotze (LED de l'esquerra) només dues (terra i bateria), ja que en aquest cas les dades arriben per l'altre cantó de la tira, per la tira número onze.

L'alimentació sí s'ha connectat als dos costats per reduir l'efecte de les caigudes de tensió.

Per últim esmentar la connexió del microcontrolador amb la bateria. El microcontrolador presenta un connector específic per facilitar la connexió a aquest tipus d'alimentació. És fàcil de connectar i desconnectar per poder carregar la bateria quan sigui necessari.

3.4. Muntatge

Primer s'han tallat les tires de LED fins a tenir-ne dotze, amb divuit LED cada una.



Figura 22. Dotze tires de LED

Seguidament s'han unit aquestes amb el cables (tres cables per unió). Connectant entre si els borns d'alimentació de cada tira i la sortida de dades d'una tira amb l'entrada de dades de la següent. S'ha decidit utilitzar la menor quantitat de cables possible per tal de minimitzar el pes que això podia suposar, minimitzar les pèrdues i aconseguir un acabat més discret, tot i sabent que aquest fet complicaria la programació.

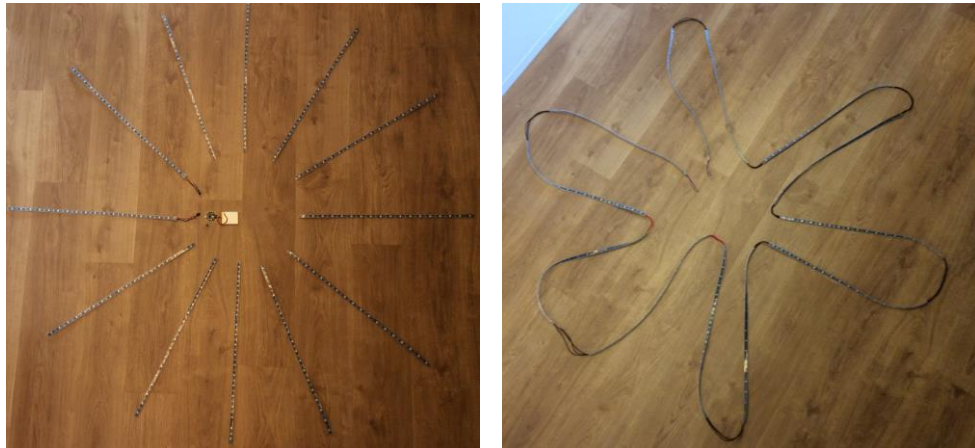


Figura 8. Disposició de les tires de LED

A continuació, amb l'ajuda de les brides, s'han disposat les tires sobre la tercera capa del tutú. S'ha fet així per tal que a simple vista només es vegi la llum i no la tira de LED i perquè la forma original del tutú no es vegi afectada.


Seguidament s'han cosit el microcontrolador i el sensor sobre un tros de tela negra, ja que la part de la cintura del tutú és d'un teixit molt elàstic i per tant les connexions es podrien trencar amb facilitat a l'hora de posar o treure el tutú, o fins i tot a l'hora de fer els moviments de la ballarina. Per fer les connexions del sensor amb el microcontrolador, primerament es va pensar de fer-ho amb fil de cosir elèctric però el contacte no era el desitjat i per tant es va decidir, com s'ha comentat abans, realitzar les connexions amb fils rígids.

A continuació, la unió de les tires LED amb el microcontrolador s'ha realitzat soldant els tres cables d'entrada a les tires directament al microcontrolador, i pel que fa als cables de sortida de les tires, s'ha soldat el corresponent al terra i el de la font d'alimentació per reduir les possibles caigudes de tensió.

3.5. Programació

Com s'ha comentat amb anterioritat, el fet de voler disminuir la quantitat de cables per unir les tires LED, provoca que la distribució d'aquests no quedi "natural", és a dir, que l'enumeració dels LED no augmenti de dalt a baix en totes les tires, tal com es mostra a la Taula 1.

FILA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----



0	35	36	71	72	107	108	143	144	179	180	215
1	34	37	70	73	106	109	142	145	178	181	214
2	33	38	69	74	105	110	141	146	177	182	213
3	32	39	68	75	104	111	140	147	176	183	212
.
.
14	21	50	57	86	93	122	129	158	165	194	201
15	20	51	56	87	92	123	128	159	164	195	200
16	19	52	55	88	91	124	127	160	163	196	199
17	18	53	54	89	90	125	126	161	162	197	198



Taula 1. Distribució tires LED

S'han volgut implementar quatre seqüències, l'efecte visual que s'ha intentat aconseguir en totes elles és que els LED s'encenguin i apaguin seguint el moviment de la ballarina.

1. Salta

Quan la ballarina salta, en ser un moviment cap amunt, s'ha volgut que s'encengui l'últim LED de cada tira (el de més avall), a continuació s'encengui el penúltim, després el penúltim, així successivament.

Després de diverses proves s'ha comprovat, que el temps de salt és molt petit, per això s'ha decidit que aquesta seqüència seria idònia per un ball en parella, és a dir, on els salts poden ser molt més llargs.

Quan pel contrari són realitzats per una ballarina, de forma individual, és possible que hi hagi uns segons de retard entre el moviment de la ballarina i el dels LED.

2. Quieta

Quan la ballarina està prou quieta (entenent que mai ho estarà del tot) s'ha intentat aconseguir un efecte de pluja. Per aquest motiu el color dels LED escollit ha estat el blau. Els LED es van encenent de dalt a baix però sense que totes les tires vagin sincronitzades.

Per tal de determinar les condicions de contorn s'ha graficat l'acceleració en cada coordenada i s'ha pogut observar que el valor de l'acceleració vertical (eix y), com era d'esperar, estarà sempre entre 8 m/s^2 i 10 m/s^2 . En concret serà d'un valor pròxim a $9,81 \text{ m/s}^2$.

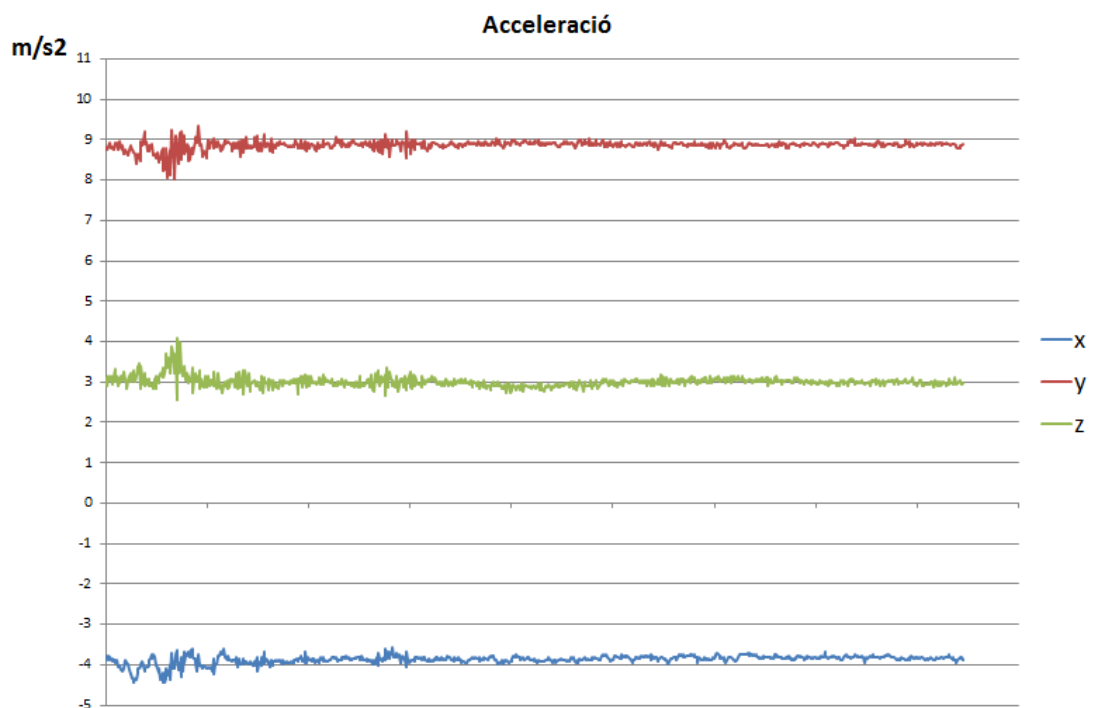


Figura 23. Dades de l'acceleròmetre

3. Gira a la dreta

En les dues seqüències en les que la ballarina gira, s'ha volgut crear el efecte del tirabuixó. S'ha aconseguit encenent els quatre primers LED de la primera tira, del segon al cinquè de la segona, del tercer al sisè de la tercera, i així successivament.

Es va observar que en la posada en escena, semblava que hi havia tires que no s'estiguessin encenent. Per això es va decidir encendre més LED creant així un efecte visual més impactant. A la Taula 2 es mostra en color vermell, la idea descrita.

4. Gira esquerra

En aquest cas la seqüència segueix l'algoritme contrari al descrit en el punt 4. Primer s'encendran els quatre primers LED de la última tira, del segon al cinquè de la penúltima, del tercer al sisè de l'avant penúltima, i així successivament.

En aquest cas també es van voler acabar encenent més LED per tira, per tal d'aconseguir l'efecte desitjat. A la Taula 2 és pot veure il·lustrat, en color verd, per a major claredat.

FILA	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0		35	36	71	72	107	108	143	144	179	180	215
1		34	37	70	73	106	109	142	145	178	181	214
2		33	38	69	74	105	110	141	146	177	182	213
3		32	39	68	75	104	111	140	147	176	183	212
4		31	40	67	76	103	112	139	148	175	184	211
5		30	41	66	77	102	113	138	149	174	185	210
6		29	42	65	78	101	114	137	150	173	186	209
7		28	43	64	79	100	115	136	151	172	187	208
8		27	44	63	80	99	116	135	152	171	188	207
9		26	45	62	81	98	117	134	153	170	189	206
10		25	46	61	82	97	118	133	154	169	190	205
11		24	47	60	83	96	119	132	155	168	191	204
12		23	48	59	84	95	120	131	156	167	192	203
13		22	49	58	85	94	121	130	157	166	193	202
14		21	50	57	86	93	122	129	158	165	194	201
15		20	51	56	87	92	123	128	159	164	195	200
16		19	52	55	88	91	124	127	160	163	196	199
17		18	53	54	89	90	125	126	161	162	197	198

Taula 2. Distribució LED per a la seqüència gira

Per tal de saber les condicions de contorn per a aquests dos últims efectes, es va fer un gràfic per il·lustrar les dades que prenia el giroscopi del sensor i el resultat va ser el següent.

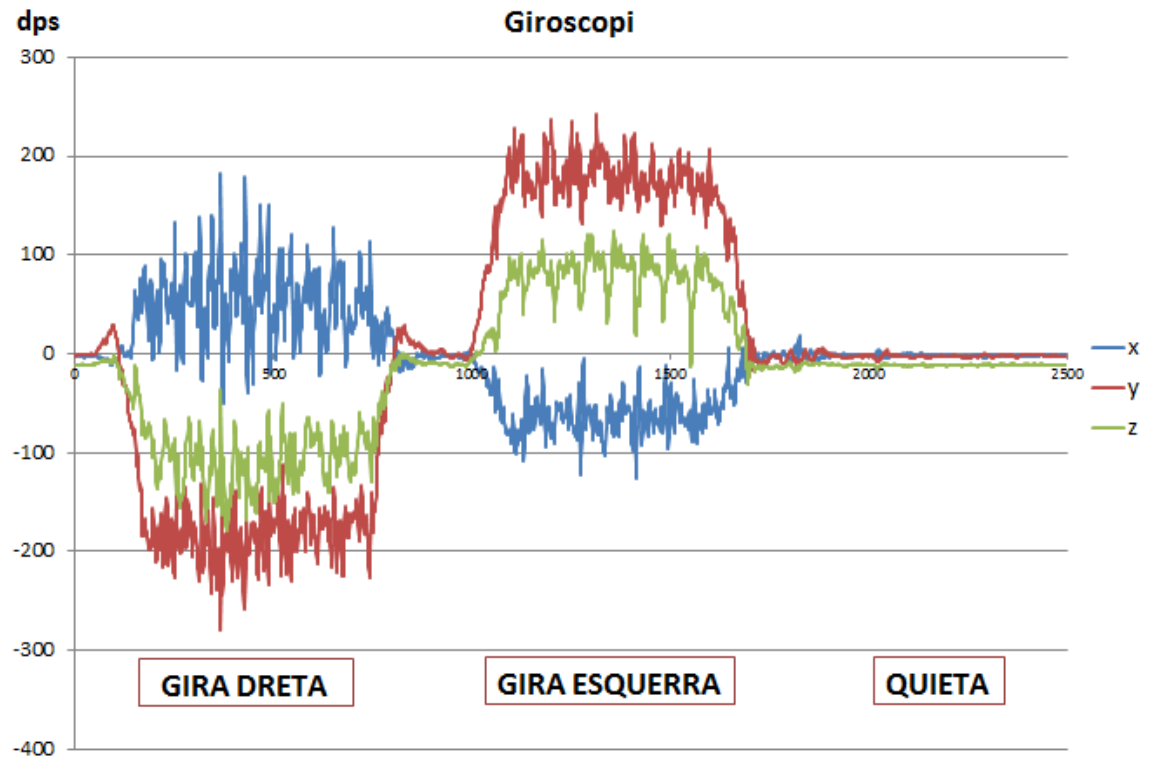


Figura 24. Dades giroscopi

Les conclusions que es van poder treure són que, quan la ballarina gira l'eix amb major velocitat angular (en valor absolut) és l'eix y (un valor major de 100 dps), si gira cap a la dreta, el valor és negatiu i si gira cap a l'esquerra el valor és positiu.

4. Pressupost

Per fer realitat aquest projecte, s'han comprat els components, alguns d'ells a la botiga online Adafruit i d'altres a ferreteries o altres punts de venda.

COMPONENT	PREU (\$)	PREU (€)
Microcotrolador	14,95	13,85
Sensor	19,95	18,48
Bateria	14,95	13,85
LED	16,95 × 8	15,70 × 8
Fil elèctric aïllat		1,72
Tutú		5
TOTAL		125,6

Taula 3. Cost material¹⁵

CONCEPTES	HORES TREBALLADES
Recerca	85
Programació	180
Muntatge	10
Memòria	25
TOTAL	300

Taula 4. Cost mà d'obra

¹⁵ Nota: conversió de moneda feta al febrer de 2017.

A un preu de 10 €/hora, el preu per la recerca, programació i muntatge seria de 2750 €.

CONCEPTE	PREU
Material	125,6 €
Mà d'obra	2750 €
TOTAL	2875 €

Taula 5. Cost total

5. Impacte mediambiental

La finalitat d'aquest projecte és la de crear un prototipus i estudiar-ne la seva viabilitat al mercat. Com que no estem treballant a gran escala, l'impacte mediambiental d'aquest projecte no és gaire gran, caldrà valorar els materials utilitzats i veure els perjudicis que poden ocasionar. Però sempre tenint present que es tracta d'un projecte a petita escala.

Dels components utilitzats el que podria ser més perjudicial per al medi ambient és la bateria. Cal tenir present que l'incorrecte rebuig d'aquest element causa grans problemes mediambientals. És per això que s'ha optat per utilitzar una bateria recarregable. D'aquesta manera l'usuari que utilitzi el tutú, no haurà de comprar bateries o piles cada poc temps i, per tant, reduïrem notablement l'impacte que aquestes podrien provocar. La bateria s'acabarà rebutjant però després de molt de temps i amb l'esperança de que l'usuari la rebutgi correctament.

Cal tenir també present que tots els components electrònics utilitzats compleixen la normativa RoHS [4]. Una normativa aprovada el 2011 per la Unió Europea, que restringeix la quantitat de sis substàncies perilloses que poden estar contingudes en aparells elèctrics i electrònics. Aquestes substàncies són plom, mercuri, cadmi, crom VI, PBB i PBDE.

Conclusions

Amb aquest treball s'ha intentat unir el món de la tecnologia amb el de la dansa, demostrant així que la tecnologia i la programació són incorporables als ambients més insospitats.

S'ha vist que el món de la tecnologia vestible, tot i que va començar amb entrebancs i poc èxit, és cada cop més comú dintre la nostra societat, fins i tot sent possible crear els projectes a casa.

La creació de un tutú amb tires LED al voltant ha estat possible, tot i que amb algunes dificultats evitables si es torna a fer el mateix projecte o un de semblant.

Una d'elles és el tipus de tires LED escollides, seria recomanable que s'utilitzessin unes de més modelables i que es poguessin adaptar millor a l'estructura del tutú, per tal que fos més senzill a l'hora de soldar i d'incorporar-les al tutú. També caldria buscar que permetessin fer unes connexions més resistents. Les utilitzades tenen una plaqueta de coure que es desenganxa fàcilment i en alguns casos va ser necessari realitzar les connexions directament a la pota del LED.

També es vol comentar el preu del producte. A l'hora de fer una producció individual, el preu és bastant elevat, cal dir però que el cost més elevat és el de la mà d'obra invertit en programació. Un cop fet el prototipatge, el programa seria el mateix per totes les següents mostres, per contra, els paràmetres emprats com a condicions de contorn en el programa depenen de cada ballarina. Tot i així, en les següents implementacions no caldria invertir tantes hores en programació, fet que reduiria considerablement el cost del producte.

Agraïments

Agrair especialment a l'Oriol Boix, professor de l'ETSEIB i tutor d'aquest TFG, la seva dedicació i seguiment al llarg de la realització d'aquest treball. També pel coneixement i experiència aportada i l'ajuda en el redactat del projecte. Per últim remarcar la fàcil accessibilitat que sempre ha mostrat.

També agrair a Intermezzo, el seu vot de confiança per aquest projecte i cedir un dels seus productes per fer-lo possible.

Per últim al Víctor, per ajudar-me sobretot en la part de programació i donar-me el seu suport en tot moment.

Bibliografia

Referències bibliogràfiques

- [1] Projecte del MIT, “*Wristify: Thermal Comfort via a Wrist Band*”, [en línia]. [<https://slice.mit.edu/2013/11/05/wristify-thermal-comfort-via-a-wrist-band/>], 20 de maig de 2017]
- [2] La Vanguardia, “*Moda a l'estil digital*”, [en línia]. [<http://epaper.lavanguardia.com/share/article/51199b31-d72d-4280-9b81-9b3dd9e08732/7ab5a6fa-2deb-441e-8f6a-221851e0fc81>], 13 de març de 2017]
- [3] Adafruit Industries, [en línia]. [<https://www.adafruit.com/>], 22 de desembre de 2016]
- [4] Unió Europea “*Normativa RoHS*”, [en línia]. [http://ec.europa.eu/growth/single-market/european-standards/harmonised-standards/restriction-of-hazardous-substances_en], 8 de juny de 2016]
- [5] Tony DiCola, “*Instal·lar Arduino*”, [en línia]. [<https://learn.adafruit.com/adafruit-arduino-ide-setup/arduino-1-dot-6-x-ide>], 22 de desembre de 2016]
- [6] Tony DiCola, “*Instal·lar els divers*”, [<https://learn.adafruit.com/adafruit-arduino-ide-setup/windows-setup>], 22 de desembre de 2016]*. *[URL, data de consulta].
- [7] Boix Aragonès, Oriol. “*Tecnologia vestible*”, [en línia]. [<http://recursos.citcea.upc.edu/vestible/programa/>], 22 de desembre de 2016]
- [8] Luis Llamas, “*Referencia para el programador del lenguaje arduino*”, [en línia]. [<http://www.luisllamas.es/2013/11/referencia-lenguaje-arduino/>], 27 de desembre de 2016]
- [9] J. Pomares, “*Manual de programación de Arduino*”, [en línia]. [http://dfists.ua.es/~jpomares/arduino/page_14.htm], 27 de desembre de 2016]